Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 5, Dec- Jan 2020, p. 565-575

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 5، آذر - دی 1398، ص. 575-565

اندازه‌گیری ویژگی‌های هندسی و مورفولوژیکی مغز پسته با استفاده از ماشین بینایی

سید محمد امام[1*] - امیرمحمد رضایی‌پور[2] - ابوالفضل فورگی‌نژاد[1]

تاریخ دریافت: 1397/07/23
تاریخ پذیرش: 1398/02/15

چکیده

مغز پسته یکی از مهمترین محصولات صادراتی ایران محسوب می‌شود. بنابراین درجه‌بندی دقیق آن از اهمیت زیادی برخوردار است. این محصول بر اساس استاندارد ملی ایران، با شمارش تعداد پسته در 100 گرم به سه دسته درشت، متوسط و ریز تقسیم می‌شود. در این مقاله با استفاده از روش ماشین‌بینایی، از تعدای مغز پسته با اندازه و شکل‌های کاملاً تصادفی تصویربرداری و ذخیره‌سازی در رایانه انجام شد. سپس، عملیات پردازش تصویر شامل بهبود عکس مغز پسته‌ها جهت افزایش دقت لبه‌یابی صورت گرفت. جهت استخراج ابعاد هندسی شامل بزرگترین قطر و مساحت، فرآیند کالیبراسیون دقیق با یک صفحه شطرنجی انجام شد. در استاندارد ملی ایران توجهی به سالم یا شکسته بودن مغز پسته جهت درجه‌بندی این محصول نشده است. لذا در این تحقیق، روش سری فوریه برای استخراج ویژگی‌های مورفولوژیکی مغز پسته شامل گردی، کشیدگی، تقارن، مثلثی و مربعی بودن با استفاده از توصیف‌گرهای مرتبه پایین مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل از عملیات کالیبراسیون، دقت اندازه‌گیری با میانگین خطای 0/09 میلی‌متر حاصل شد. با توجه به نتایج آزمایش تجربی مشاهده می‌شود، با استفاده از پردازش تصویر و تکنیک سری فوریه، امکان بهبود استاندارد فعلی از نظر افزایش سرعت، کاهش هزینه‌ها و افزودن پارامترهای شکل مغز پسته جهت تعیین میزان سالم بودن این محصول، امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: مغز پسته، ماشین بینایی، سری فوریه، درجه بندی

مقدمه

از میان روش‌های مختلف درجه‌بندی محصولات کشاورزی می‌توان به استفاده از روش‌های ژنتیکی اشاره کرد اما این روش‌ها به‌دلیل گران بودن، محدود به استفاده در آزمایشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی می‌گردند. از دیگر روش‌ها روش منطق فازی است. لرستانی و همکاران (1386) یک سیستم هوشمند را برای درجه‌بندی سیب گلدن دلیشز با استفاده از منطق فازی طراحی کردند. نتایج به‌دست آمده همخوانی 91/2 و 95/2 درصد به‌ترتیب برای حالت‌های ارزیابی آنلاین و آفلاین با نتایج حاصل از درجه‌بندی به‌وسیله کارشناس خبره را نشان دادند. روش ماشین بینایی یکی از نخستین روش‌های ارزیابی محصولات کشاورزی بوده است. بیشترین کاربرد این روش در سیستم‌های درجه‌بندی محصولات کشاورزی، تشخیص رنگ و عیوب ظاهری است. دسته‌بندی محصولات کشاورزی به‌وسیله ماشین بینایی جایگزین مناسب روش‌های مرسوم دسته‌بندی مانند روش‌های مکانیکی یا الکترونوری است. این روش طبقه‌بندی سرعت بالا را توسط الگوریتم‌های پردازش تصویر ارائه می‌دهد. رضوی و همکاران (2010) در پژوهشی که انجام داده‌اند، برخی از ویژگی‌های فیزیکی دانه پسته وحشی (بنه) را از طریق روش‌های تجربی به‌دست آورده و نتایج آن را با داده‌های حاصل از روش پردازش تصویر مقایسه کرده‌اند. نتایج آنها همخوانی بالا با مقادیر ضریب تبیین بین 0/65 تا 0/90 میان دو روش را نشان می‌دهد. Nouri-Ahmadabadi و همکاران (2017) در روشی که برای دسته‌بندی مغز پسته به‌وسیله ماشین بینایی و ماشین‌بردار پشتیبان ارائه نمودند، از یک دوربین CCD برای تصویربرداری استفاده شده است. تصاویر گرفته شده در کامپیوتر تحلیل شده و تصاویر از RGB به HSV تبدیل می‌شوند تا مولفه H مربوط به فضای رنگی جداسازی شود و در نهایت تفاوت‌های موجود بین آنها موجب دسته‌بندی پسته‌ها شود. در تحقیقی دیگر بر روی پسته تاثیر رطوبت روی کیفیت پسته و ماندگاری آن سنجیده شده است (Kader *et al*., 1982). طبق نظر آن‌ها پسته‌هایی با درصد رطوبت 4 تا 6% بهترین کیفیت را داشته و می‌توان آن را به مدت 12 ماه در دمای 20 درجه سانتی‌گراد نگهداری نمود. Ebrahimy Nezhada و همکاران (2017) نشان دادند کندن پوست پسته به روش‌های مرسوم باعث کاهش کیفیت آن و همچنین بالا رفتن قیمت پسته می شود. از این رو یک روش اتوماتیک که بر اساس تکنیک پردازش تصویر کار می‌کند برای دسته‌بندی پسته با

1 و 2- به‌ترتیب استادیار و دانش آموخته کارشناسی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بیرجند.
(*- نویسنده مسئول: Email: sy.m.emam@birjandut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v15i4.75995

پوست و بدون پوست ارائه نمودند. Mahmoudi و همکاران (2006) برای دسته‌بندی انواع چهارگانه پسته ایرانی روش شبکه‌های عصبی را پیشنهاد کردند. این روش سیگنال‌های صوتی 3200 پسته با 800 نوع مختلف را ضبط می‌کند. این سیگنال ها آنالیز شده و دامنه فرکانس آنها استخراج می‌شود و داده‌های گرد آوری شده در روش شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سازمان ملی استاندارد ایران به بررسی ویژگی‌ها و روش‌های آزمون مغز پسته پرداخته و استانداردهایی را برای ویژگی‌ها، نمونه‌برداری، طبقه‌بندی، روش‌های آزمون، بسته‌بندی و نشانه‌گذاری مغز پسته ارائه داده است (استاندارد شماره 218، 1392). در این استاندارد، تعداد 160 مغز پسته در 100 گرم به‌عنوان محصول درجه یک و درشت شناسایی می‌شود. تعداد مغز پسته بین 161 تا 231 و تعداد 231 دانه و بیشتر به‌ترتیب به‌عنوان مغز پسته متوسط و ریز شناخته می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در این استاندارد توجهی به سالم یا شکسته بودن پسته نشده است. لذا پسته‌ای که شکسته ولی بزرگ باشد از نظر این استاندارد مطلوب است. در حالی‌که پسته درجه یک برای صادرات، محصولی است که دارای اندازه درشت، سالم، کشیده و دارای کمترین میزان چروکیدگی باشد. در این مقاله با روش ماشین بینایی از 24 مغز پسته در شرایط نورپردازی مناسب تصویر برداری شده و پس از انجام عملیات کالیبراسیون تصاویر را توسط کامپیوتر تحلیل و خواص مورفولوژیکی پسته از از قبیل کشیدگی، تقارن، مربعی و مثلثی استخراج می شود. با توجه به استانداردهای موجود پسته، دسته‌بندی و کیفیت‌سنجی آن مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای بررسی کارایی سیستم پیشنهادی، تعداد 24 عدد پسته با اندازه و شکل‌های متفاوت انتخاب گردید. لازم به ذکر است، تعداد و نوع پسته انتخاب شده برای اندازه‌گیری، دارای اهمیت نبوده است. زیرا، دقت سیستم پیشنهادی با استفاده از بلوک‌های اندازه‌گیری استاندارد با دقت ساخت 1 میکرومتر سنجیده شد. لذا اندازه‌گیری با توجه به عملیات کالیبراسیون انجام شده، برای هر تعداد پسته با هرشکلی دارای نتایج یکسان خواهد بود. از طرف دیگر برای نشان دادن کارایی سیستم، ویژگی‌های شکل مغز پسته از جمله مثلثی بودن، مربعی بودن، گردی، کشیدگی و تقارن با استفاده از هارمونیک‌های مختلف سری فوریه محاسبه شد. در نهایت مقایسه‌ای بین پارامترهای مورد نیاز در استاندارد ملی ایران جهت درجه‌بندی مغز پسته و پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق جهت مشخص شدن کارایی، سرعت و دقت سیستم پیشنهادی صورت گرفت.

محاسبه و استخراج پارامترهای شکل

جهت تجزیه و تحلیل پسته‌ها و محاسبات ریاضی از نرم‌افزار National Instruments Labview v8.2.1 و برای استخراج توصیف‌گرهای شکل، از سری فوریه قطبی استفاده شد. در ابتدا باید نقاطی با گام زاویه‌ای برابر روی محیط (مرز مغز هر پسته) به‌دست آید. بنابراین به کمک نرم‌افزار، مرکز هندسی هر پسته انتخاب و سپس دو دایره که یکی کوچکتر از دایره محاطی و دیگری بزرگتر از دایره محیطی است، ترسیم گردید. دلیل انتخاب این دو دایره با شعاع‌های ذکر شده، اطمینان از قرار گرفتن مرز ذره بین دایره‌ها می باشد. در نهایت خطوطی با گام‌های زاویه‌ای دلخواه از محیط دایره کوچک به محیط دایره بزرگ ترسیم شد و نقاط برخورد (اولین پیکسلی که از سطح روشنایی صفر (تاریک) به سطح روشنایی یک (سفید) تبدیل می‌شود) که لبه جسم را تشکیل می‌دهند مشخص شد. با داشتن مختصات نقاط و اعمال تکنیک فوریه، پارامترهای کشیدگی، گرد بودن ذرات جسم، تقارن، مثلثی و مربعی بودن برای هر یک از ذرات مشخص شد.

روش تصویربرداری

در شکل 1 اجزاء سخت افزاری سیستم آزمایشگاهی جهت تصویربرداری، استخراج ابعاد و ویژگی‌های شکل مغز پسته‌ها نشان داده شده است.

در این تحقیق از دوربین GigE مدل DFK 23GX236 با ارایه سنسور CMOS استفاده شده است که یک دوربین ویدیویی با سنسور 1/2.8 اینچ و اندازه 29(H)×29(D)×57(W) میلی‌متر مکعب بوده و تصاویر گرفته شده توسط آن دارای رزولوشن 1920(H)×1200(V) می‌باشد. برای دوربین از لنز computer مدل M0814-MP2 استفاده شده است که این لنز از نوع C-mount با فاصله کانونی 8 میلی‌متر می‌باشد.

مهمترین بخش، قبل از اندازه‌گیری ابعاد با استفاده از سیستم آزمایشگاهی فوق، عملیات کالیبراسیون است. با انجام این مرحله امکان تبدیل مختصات جسم از واحد تصویر (پیکسل) به واحد متریک، امکان‌پذیر می‌باشد. کالیبراسیون شامل تشخیص و معرفی موقعیت مکانی دوربین نسبت به جسم و همچنین یافتن پارامترهای ذاتی دوربین و اعمال آنها می‌باشد. در ادامه به توضیح آن پرداخته می‌شود.

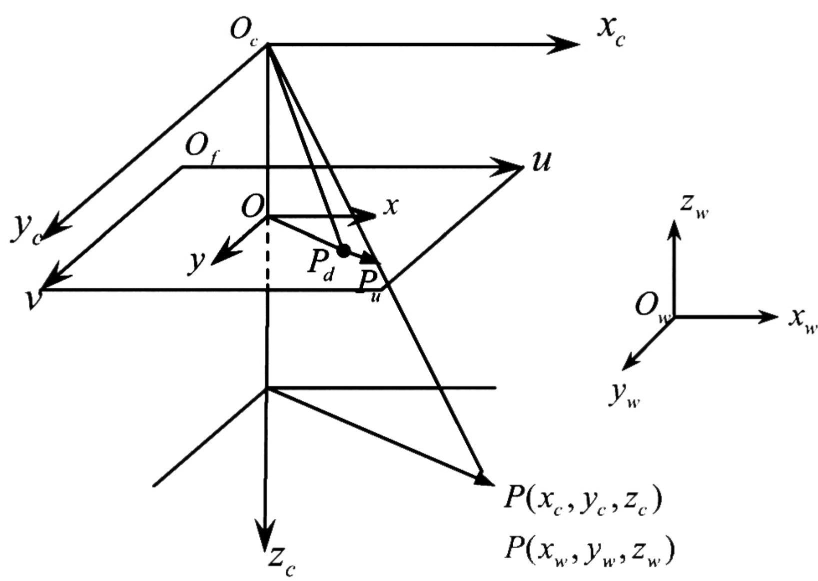
دوربین

مدل دوربین در تصویربرداری ایده‌آل، مطابق شکل 2 می‌باشد. به دلیل خطاهای سخت افزاری دوربین و لنز، بین تصاویر واقعی و ایده‌آل اختلاف زیادی وجود دارد.

اعوجاج شعاعی و مماسی لنز دوربین از مهمترین منابع خطای تصویربرداری می‌باشند (Xingfang *et al*., 2010).



شکل 1- سیستم آزمایشگاهی پیاده‌سازی شده



شکل 2- مدل هندسه تصویربرداری دوربین (Xingfang *at al*., 2010)

(x_w, y_w, z_w) نشان‌دهنده مختصات نقطه P در دستگاه مختصات جهانی $O_w x_w y_w z_w$ می‌باشد. مبدا سیستم مختصات دوربین $O_c x_c y_c z_c$ در مرکز نوری دوربین قرار دارد و محور z_c در راستای با محور نوری است. تغییر موقعیت هر نقطه از سیستم مختصات جهانی به سیستم مختصات دوربین توسط ماتریس دوران R و بردار انتقال T با استفاده از رابطه (1) امکان پذیر می‌باشد (Xingfang *et al*., 2010).

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + T \qquad (1)$$

که در رابطه (1) R و T برابرند با:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}, \quad T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \qquad (2)$$

مبدأ سیستم مختصات متریک تصویری Oxy در موقعیتی قرار میگیرد که محور نوری دوربین، صفحه تصویر را قطع می‌کند. محور xو y به‌ترتیب با محورهای x_c و y_c موازی هستند. در این سیستم مختصات، واحد اندازه‌گیری بر حسب میلی‌متر است. تبدیل از سیستم مختصات دوربین به سیستم مختصات تصویر با استفاده از رابطه (3) امکان‌پذیر می‌باشد (Xingfang *et al*., 2010).

$$\begin{bmatrix}x\\y\\1\end{bmatrix}=\frac{1}{z_c}\begin{bmatrix}f&0&0\\0&f&0\\0&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_c\\y_c\\z_c\end{bmatrix} \quad (3)$$

پارامتر f در رابطه (3) فاصله کانونی دوربین می‌باشد. مبدأ سیستم مختصات پیکسلی تصویر $O_f uv$ در بالا سمت چپ تصویر قرار می گیرد و محورها u و v به‌ترتیب ستون‌ها و ردیف‌های پیکسل‌ها هستند. در این سیستم مختصات، واحد اندازه‌گیری بر حسب پیکسل است.ابتدا مختصات پیکسلی مرکز تصویر O (همچنین مرکز سیستم مختصات متریک تصویر)(u_o, v_o) در نظر گرفته می‌شود. سپس تبدیل از سیستم مختصات متریک تصویر به سیستم مختصات پیکسلی تصویر توسط رابطه (4) قابل محاسبه است (Xingfang *et al*., 2010).

$$\begin{bmatrix}u\\v\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}N_x&0&u_0\\0&N_y&v_0\\0&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\y\\1\end{bmatrix} \quad (4)$$

در رابطه (4) N_x و N_y نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌ها به‌ترتیب در جهت x و y سطح تصویر است. (u,v) مختصات نقاط تصویر در واحد پیکسل و در شرایط ایده‌آل است. $P_d(x_d, y_d)$ مختصات واقعی نقاط تصویر با وجود خطاهای سخت‌افزاری از جمله اعوجاج لنز است که باعث بروز خطای شعاعی و مماسی در حین انتقال نقاط بین دستگاه مختصات صفحه کالیبراسیون و تصویر می‌شود. در خطای شعاعی که با توجه به کاهش دقت ساخت لبه‌های لنز نسبت به مرکز آن ایجاد می‌شود، نقاط تصویر در راستای شعاع لنز جابجا خواهند شد. از سوی دیگر به دلیل قرار نگرفتن محور تقارن دو طرف لنز در یک راستا، خطای مماسی رخ می‌دهد. مختصات واقعی نقاط تصویر طبق رابطه (5) به مختصات ایده‌آل تبدیل می‌گردد (Xingfang *et al*., 2010).

$$\begin{aligned}u-u_0&=(u_d-u_0)(1+k_1r^2+k_2r^4)\\v-v_0&=(v_d-v_0)(1+k_1r^2+k_2r^4)\end{aligned} \quad (5)$$

در فرمول (5)،

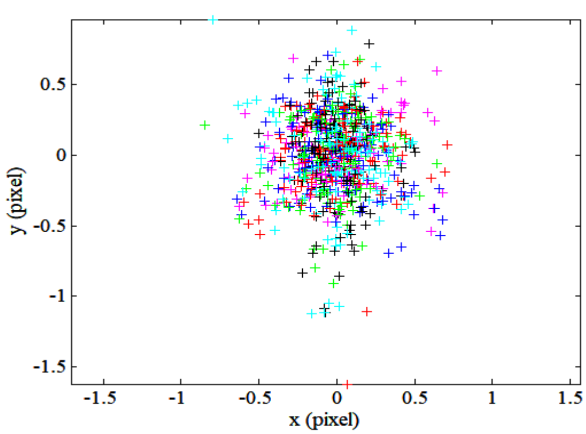
پارامترهای $r=((u_d-u_0)^2+(v_d-v_0)^2)^{\frac{1}{2}}$، k_1 و k_2 ضرایب اعوجاج شعاعی مرتبه دوم لنز هستند (Xingfang *et al*., 2010).

الگوریتم کالیبراسیون دوربین

در نزدیکی مرکز تصویر، اعوجاج نوری بسیار کوچک است، بنابراین تصویربرداری می‌تواند تقریبا خطی باشد. بر اساس روابط بخش قبل، تبدیل از مختصات جهانی به مختصات پیکسلی با توجه به رابطه (6) امکان‌پذیر است (Xingfang *et al*., 2010).

$$z_c\begin{bmatrix}u\\v\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}a_x&0&u_0&0\\0&a_y&v_0&0\\0&0&0&0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}R&T\\0&0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_w\\y_w\\z_w\\1\end{bmatrix} \quad (6)$$

در فرمول (6)، $a_x=fN_x$، $a_y=fN_y$، u_o و v_o چهار پارامتر درونی کالیبراسیون نامیده می‌شوند. R و T پارامترهای بیرونی کالیبراسیون هستند و از شش مجهول شامل سه زوایای دوران و سه بردار انتقال نسبت به محورهای x، y و z تشکیل شده‌اند. تجزیه و تحلیل فوق نشان می دهد که برای یافتن 10 پارامتر کالیبراسیون (4 پارامتر درونی و 6 پارامتر بیرونی) نیاز به دانستن موقعیت دقیق حداقل 5 نقطه از یک جسم (هر نقطه شامل دو معلوم در راستای x و y) می‌باشد. در این تحقیق برای استخراج این پارامترها با دقت قابل قبول، از صفحه کالیبراسیون انتخاب شده در شکل 1 شامل 48 نقطه استفاده شده است. در نهایت با جابه‌جا کردن صفحه کالیبراسیون در 15 موقعیت مختلف، محدوده فضایی مورد نظر کالیبره می‌شود. پس از یافتن پارامترهای کالیبراسیون و برقراری رابطه مجدد بین نقاط متناظر در صفحه کالیبراسیون و تصویر، برای تمام نقاط، مقدار خطای بین محل واقعی نقاط تصویر و نقاط استخراج شده بر حسب پیکسل در شکل 3 نشان داده شده است. مشاهده می‌شود مقدار میانگین خطا در راستای x و y به‌ترتیب برابر 0/26 پیکسل و 0/28 پیکسل می‌باشد.



شکل 3- مدل هندسه تصویربرداری دوربین

روش فوریه

با استفاده از ویژگی‌های شکل مغز پسته از جمله مثلثی بودن، مربعی بودن، گردی، کشیدگی و تقارن و ارتباط آن با عیوب پسته، درجه‌بندی امکان‌پذیر می‌باشد. به‌عنوان مثال، پسته شکسته دارای گوشه‌های تیز بوده و ضریب مثلثی بودن نسبتاً بزرگی خواهد داشت. در ادامه روابط ریاضی و پارامترهای مختلف شکل مورد بررسی قرار گرفته است. استخراج توصیف‌گرهای سری فوریه به فرم قطبی با استفاده از فرمول(7) امکان‌پذیر می‌باشد.

$$R(\theta) = a_0 + \sum_{n=1}^{N}(a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) \quad (7)$$

که در این فرمول، R نشان‌دهنده شعاع (فاصله مرکز هندسی جسم تا لبه) در زاویه θ است. n نشان‌دهنده هارمونیک‌های مختلف شکل و N تعداد کل هارمونیک مورد استفاده خواهد بود. a و b ضرایب سری فوریه جهت استخراج پارامترهای شکل مطابق جدول 1 می‌باشند.

توصیف‌گرهای مورد استفاده در این مقاله طبق فرمول (8) محاسبه می‌شود (Clark *et al*., 1981; Bowman *et al*., 2000).

$$\text{ضریب توصیف‌گر} = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} \quad (8)$$

جدول 1- توصیف‌گرهای سری فوریه

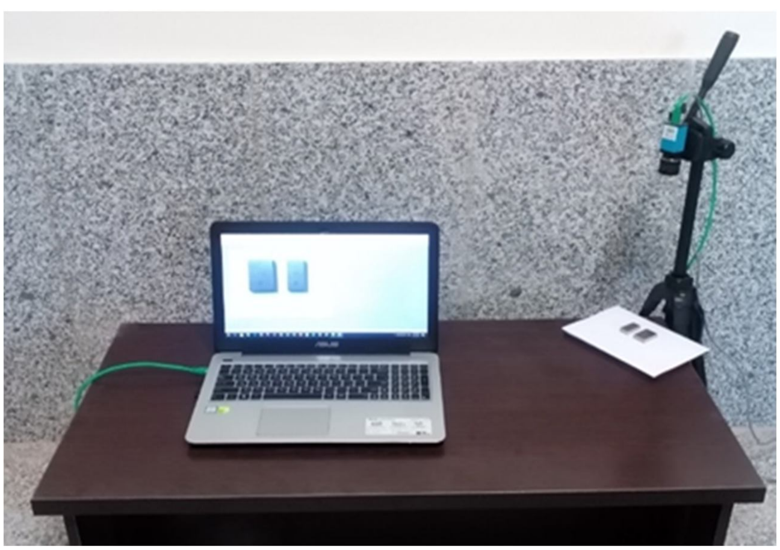
توصیف‌گر سری فوریه	ضریب (n)
گردی	صفر
تقارن	1
کشیدگی	2
مثلثی بودن	3
مربعی بودن	4

نتایج حاصل از روش تصویربرداری و کالیبراسیون

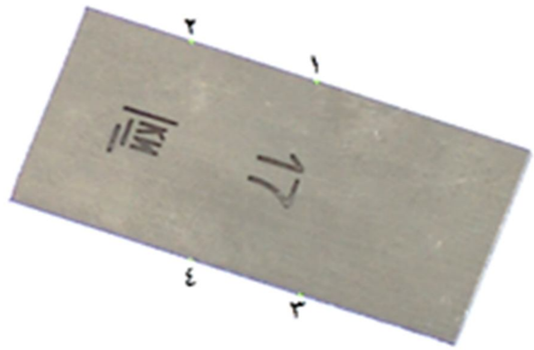
برای بررسی دقت اندازه‌گیری ابعاد با استفاده از سیستم آزمایشگاهی پیاده‌سازی شده از دو بلوک گیج مدل Moore & Wright با دقت ساخت 0/45 تا 1 میکرومتر (با توجه به اندازه بلوک‌ها) مطابق شکل 4 استفاده شده است. شرایط تصویربرداری برای اندازه‌گیری این قطعه با شرایطی که از مغز پسته‌ها تصویر برداشته شده است یکسان در نظر گرفته می‌شود تا بتوان دقت اندازه گیری را مقایسه نمود.

با به‌دست آوردن مختصات چهار نقطه در لبه‌های بلوک با کمک نرم‌افزار NI Vision Assistant مطابق شکل 5 و به‌دست آوردن روابط خطوط گذرنده از نقاط 1،2 و 3،4 عرض بلوک با استفاده از فاصله این دو خط به‌دست می‌آید.

در جدول 2 نتایج حاصل از اندازه‌گیری بلوک‌ها و دقت کالیبراسیون نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، میانگین خطای اندازه‌گیری برابر 0/09 میلی‌متر می‌باشد.



شکل 4- بلوک گیج‌های انتخاب شده جهت بررسی دقت سیستم



شکل 5- استخراج مختصات نقاط بر روی بلوک گیج

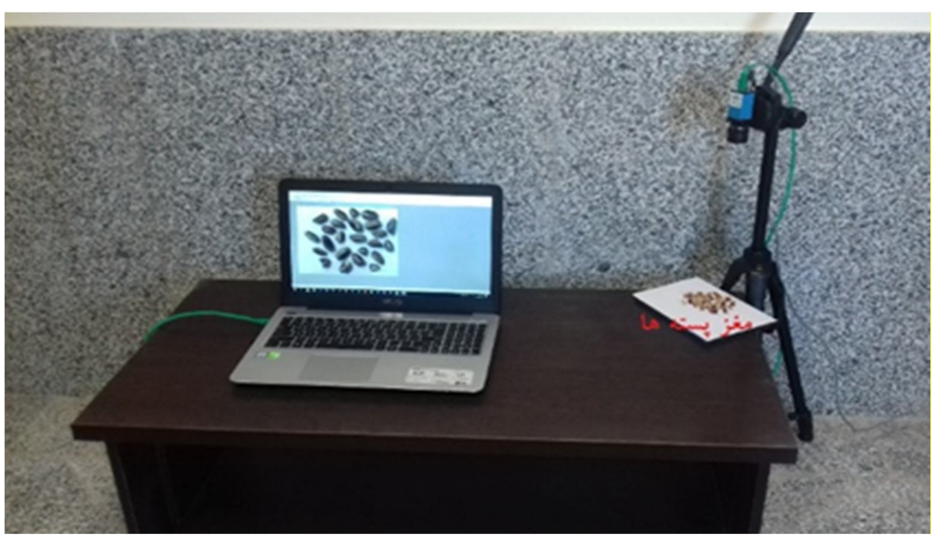
جدول 2- نتایج حاصل اندازه‌گیری بلوک ها و دقت کالیبراسیون

	بلوک 1	**بلوک 2**
اندازه واقعی(mm)	17	24
اندازه محاسبه شده	16/93	24/10
میزان خطا(mm)	0/07	0/10
میانگین خطا (mm)	**0/09**	

پردازش تصویر مغز پسته‌ها

در شکل 6 تصویربرداری از مغز پسته‌ها نشان داده شده است. چیدمان سیستم آزمایشگاهی در این حالت دارای شرایط یکسانی با قسمت کالیبراسیون می‌باشد. در شکل 7 تصویر اولیه گرفته شده از مغز پسته‌ها نشان داده شده است.

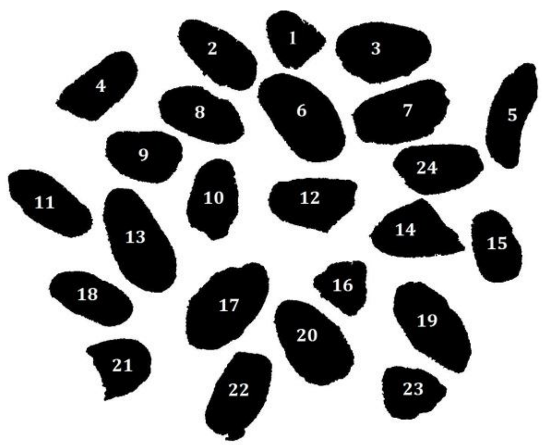
در این مرحله با استفاده از روش Inter variance مغز پسته‌ها به تصویر باینری تبدیل می‌شوند. در شکل 8 تصویر باینری مغز پسته‌ها نشان داده شده است. تصویر باینری شده در این قسمت به‌عنوان ورودی برای انجام محاسبات ریاضی و اعمال سری فوریه روی پسته‌ها و استخراج خصوصیات شکل استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در شکل 8 تعداد 24 پسته وجود دارد لذا جهت مشخص شدن خصوصیات هر پسته، از شماره‌گذاری طبق شکل 8 استفاده شده است. برای نمونه مراحل مربوط به استخراج ویژگی‌های شکل مغز پسته برای پسته شماره 4، در شکل 9 نشان داده شده است.



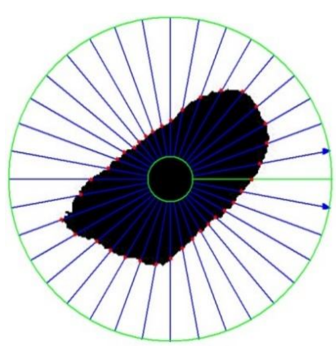
شکل 6- سیستم آزمایشگاهی در حال تصویربرداری از مغز پسته‌ها



شکل 7- تصویر اولیه مغز پسته‌ها



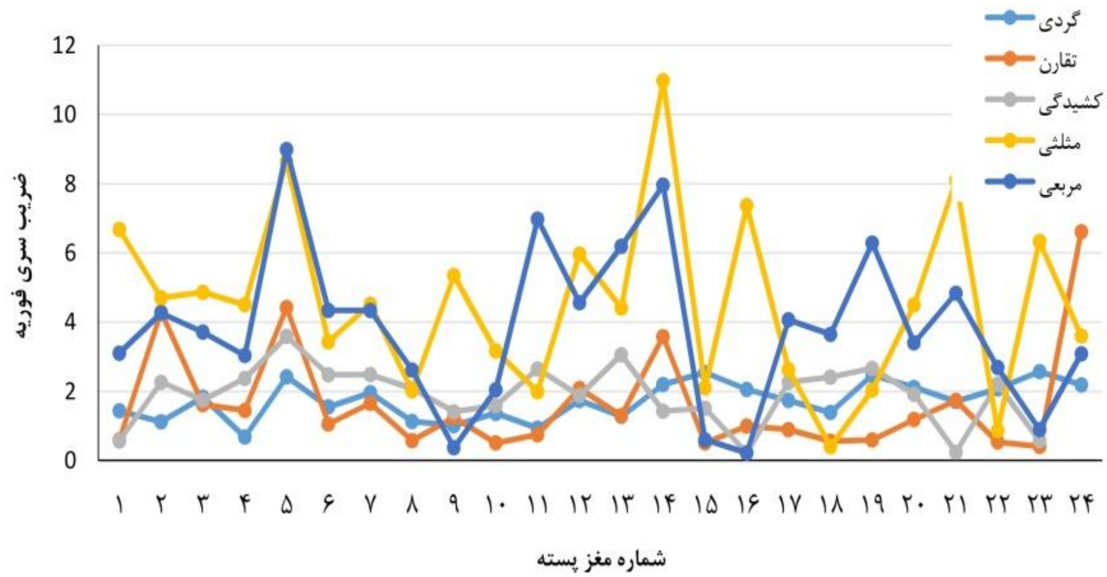
شکل 8- تصاویر مغز پسته پس از اعمال الگوریتم باینری و شماره‌گذاری



شکل 9- تصویر پسته شماره 4 پس از استخراج نقاط مرزی

در شکل 10 توصیف‌گرهای سری فوریه برای کشیدگی، تقارن، مربعی، گردی و مثلثی بودن تک تک پسته‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، به‌عنوان مثال ضریب مثلثی بودن برای پسته شماره 14 بیشترین مقدار را دارد که این موضوع در شکل 7 قابل ملاحظه است. همانطور که ذکر شد، روشی که استاندارد شماره 218 جهت درجه‌بندی پسته پیشنهاد می‌دهد، نیازمند

شمارش تعداد مغز پسته موجود در 100 گرم از این محصول می‌باشد. این فرآیند نیازمند وزن کردن و همچنین شمارش مغز پسته می‌باشد که کاری زمان‌بر می‌باشد. در این مقاله روشی پیشنهاد می‌شود که در آن با یک بار تصویربرداری و استخراج پارامترهای بیشترین قطر و مساحت می‌توان پسته را بر اساس اندازه به سه دسته درشت، متوسط و ریز درجه‌بندی نمود. در جدول 3 بزرگترین قطر و مساحت همه پسته‌ها با یک تصویر گرفته شده در قسمت قبل استخراج گردیده است.



شکل 10- توصیف گرهای سری فوریه برای مغز پسته‌ها

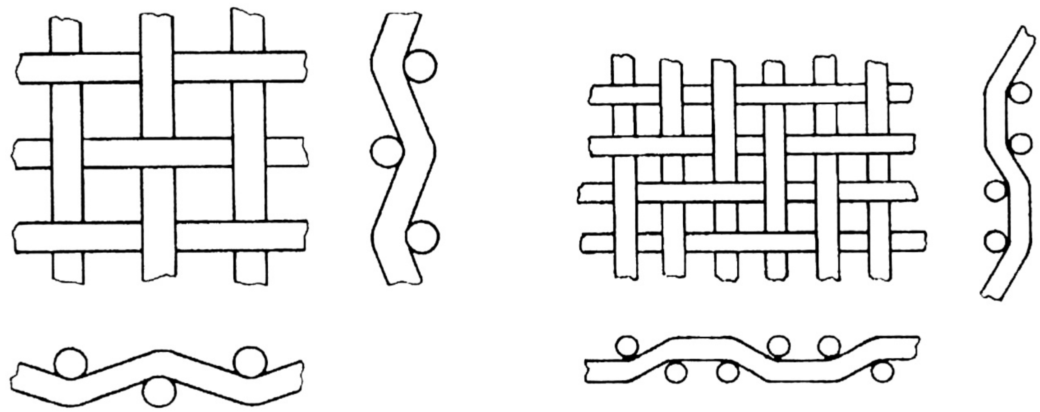
جدول 3- بزرگترین قطر و مساحت برای مغز پسته‌ها

شماره	قطر(cm)	مساحت (cm^2)	شماره پسته	قطر(cm)	مساحت (cm^2)
1	1/11573	0/76717	13	2/00653	1/64232
2	1/62681	1/17647	14	1/70834	1/17506
3	1/70523	1/78195	15	1/25900	0/94842
4	1/55576	1/03744	16	0/98536	0/66112
5	1/95485	1/14046	17	1/84081	1/57159
6	1/84033	1/65746	18	1/47007	0/94801
7	1/81301	1/51843	19	1/87821	1/37662
8	1/54946	1/05463	20	1/62394	1/43452
9	1/28280	1/05360	21	1/20065	0/80326
10	1/40047	1/00943	22	1/56300	1/25527
11	1/72278	1/13847	23	1/13515	0/78762
12	1/56589	1/13946	24	1/62656	1/13261

جهت پیاده‌سازی این ایده نیاز است تا استاندارد ملی ایران متناسب با این روش ارتقا یابد. به‌عنوان مثال، در استاندارد مربوط به ماسه به‌کار رفته در بتن، درجه‌بندی بر اساس اندازه هندسی تدوین شده است (استاندارد شماره 302، 1381). در این استاندارد برای درجه‌بندی ماسه بر اساس اندازه از آزمون الک کردن استفاده شده است (استاندارد 1598،

1392). در شکل 11 دو نمونه الک مورد استفاده در استاندارد با بافت‌های متفاوت نشان داده شده است.

در این استاندارد، باید ماده مورد نظر از الک‌هایی با اندازه مش‌های (سوراخ‌های) متفاوت از مش درشت تا ریز با اندازه‌های استاندارد عبور کرده و با توجه به درصد دانه‌های عبور کرده از هر الک، درجه‌بندی انجام خواهد گرفت. با توجه به اینکه در استاندارد مغز پسته این روش درجه بندی صورت نگرفته است، لذا امکان مقایسه با استاندارد شماره 218 وجود ندارد؛ ولی با توجه به نتایج قسمت کالیبراسیون، اندازه‌های استخراج شده در جدول 3 با میانگین خطای 0/09 میلی‌متر دقت داشته و در صورت تغییر استاندارد این محصول، درجه‌بندی به راحتی امکان پذیر است. با توجه به مساحت و قطر ماکزیمم به‌دست آمده، می‌توان درصد عبور مغز پسته‌ها از هر الک استاندارد را محاسبه نمود.



الف ب

شکل 11- الک‌های آزمون استاندارد، الف) بافت جناغی ب) بافت ساده (استاندارد 1598، 1392)

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری ابعادی، یکی از بخش‌های مهم در صنایع مختلف می‌باشد. کنترل کیفیت و بازرسی محصولات تولیدی وابسته به اندازه‌گیری دقیق و سریع در خط تولید می‌باشد. مغز پسته نیز جهت درجه‌بندی نیازمند استخراج ابعاد هندسی می‌باشد. در حال حاضر این فرآیند توسط روش‌های سنتی و دستی انجام می‌شود که معایبی مثل عدم دقت و سرعت کافی را به‌همراه دارد. در این مقاله با استفاده از روش بدیع ماشین بینایی، ویژگی‌های هندسی و همچنین خصوصیات مورفولوژیکی مغز پسته اندازه‌گیری شده است. مزایای اندازه‌گیری با استفاده از سیستم غیرتماسی فوق و نتایج به‌دست آمده عبارت است از:

1- با استفاده از سیستم اندازه‌گیری مبتنی بر روش ماشین بینایی، امکان استخراج ویژگی‌های هندسی و مورفولوژیکی مغز پسته جهت درجه‌بندی با دقت و سرعت بالا امکان‌پذیر است. لازم به ذکر است در استاندارد ملی ایران، درجه‌بندی فقط بر اساس ویژگی‌های هندسی و توسط اوپراتور انجام می‌شود که کاری زمانبر و وابسته به دقت اوپراتور دارد.

2- جهت نشان دادن کارایی سیستم از استانداردهای ملی ایران استفاده شده است. هرچند امکان مقایسه در این تحقیق به دلیل تفاوت در پارامترهای ذکر شده در این تحقیق و استاندارد وجود ندارد ولی پیاده‌سازی سیستم پیشنهادی جهت استخراج ویژگی‌های هندسی جهت درجه‌بندی امکان‌پذیر است. از طرف دیگر در استاندارد ایران، در درجه بندی این محصول صادراتی مهم توجه‌ای به سالم و شکسته بودن مغز پسته نشده است که با روش پیشنهادی در این تحقیق، این پارامتر مهم نیز قابل اندازه‌گیری است.

2- با توجه به عملیات کالیبراسیون انجام گرفته و محاسبه ابعاد بلوک‌های استاندارد با دقت 1 میکرومتر، دقت اندازه‌گیری ابعادی پسته با میانگین خطای 0/09 میلی‌متر حاصل شد.

3- جهت استخراج ویژگی‌های مورفولوژیکی از توصیف‌گرهای سری فوریه استفاده شده است. لذا پارامترهایی از قبیل گردی، کشیدگی، تقارن، مثلثی و مربعی بودن که مرتبط با شکل مغز پسته باشد قابل محاسبه است. لذا بهترین مغز پسته جهت صادرات، محصولی است که دارای کشیدگی و تقارن زیاد و ضریب مثلث بودن پایینی داشته باشد.

4- استخراج تمام ویژگی‌های هندسی و مورفولوژیکی مغز پسته فقط با یک تصویر، با سرعت و دقت بالا محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است عملیات کالیبراسیون فقط یک‌مرتبه انجام می‌گیرد و سپس درجه-بندی مغز پسته برای هر مجموعه با یک عکس قابل انجام است.

5- امکان پیاده‌سازی سیستم فوق بر روی نوار نقاله در خطوط تولید پیوسته برای بسته بندی مغز پسته امکان‌پذیر است. لذا در این

حالت نیازی به توقف خط و درجه بندی محصول طبق استاندارد فعلی برای وزن کردن تعداد مشخصی از این محصول نیست.

منابع

رضوی، س. م. ع.، مظاهری نسب، م.، نیکفرو، ف. و ثنایی فرد، ح.، 2010، خواص فیزیکی و پردازش تصویر دانه پسته وحشی بنه، مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، 3 (2)، 61-71.

کمیته ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها، 1392، الک‌های آزمون و آزمون الک کردن- واژه نامه (استاندارد شماره 1598)، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ایران.

کمیته ملی استاندارد ساختمان و معدن، 1381، سنگدانه های بتن-ویژگی‌ها (استاندارد شماره 302)، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ایران.

کمیته ملی استاندارد خوراک و فرآورده های کشاورزی، 1392، مغز پسته-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون (استاندارد شماره 218)، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ایران.

لرستانی، ع.، امید م.، طباطبایی فر، س. ا.، برقعی، ع. م. و باقری شورکی، س.، 1386، طراحی و ارزیابی یک سیستم هوشمند درجه‌بند سیب گلدن دلیشز با منطق فازی، مجله علوم کشاورزی ایران، 38 (1) 1-10.

Bowman, E. T., Soga, K., & Drummond, W., 2001, Particle shape characterisation using Fourier descriptor analysis. *Geotechnique*, 51(6), 545-554.

Clark, M. W., 1981, Quantitative shape analysis: a review. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 13(4), 303-320.

Kader, A. A., Heintz, C. M., Labavitch, J. M., & Rae, H. L., 1982, Studies related to the description and evaluation of pistachio nut quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107(5), 812-816.

Mahmoudi, A., Omid, M., Aghagolzadeh, A., & Borgayee, A. M., 2006, Grading of Iranian's export pistachio nuts based on artificial neural networks. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8 (3), 371-376.

Nezhad, R., & Ebrahımy, F., 2014, an intelligent-based mechatronics system for grading the iranian's export pistachio nuts into hulled and non-hulled groups. Indian Journal of Scientific Research, 7(1), 1063-1071.

Nouri-Ahmadabadi, H., Omid, M., Mohtasebi, S. S., & Firouz, M. S., 2017, Design, development and evaluation of an online grading system for peeled pistachios equipped with machine vision technology and support vector machine. *Information Processing in Agriculture*, 4(4), 333-341.

Xingfang, Y., Yumei, H., & Feng, G., 2010, October, A simple camera calibration method based on sub-pixel corner extraction of the chessboard image. In Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS), 2010 IEEE International Conference on (Vol. 3, pp. 688-692). IEEE.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 5, Dec- Jan 2020, p. 565-575

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 5، آذر - دی 1398، ص.575-565

Geometric and morphological characteristics measurement of pistachios using the machine vision

S. M. Emam[1*], A. M. Rezaiepoor[2], A. Foorginejad[1]

Received: 2018.10.15
Accepted: 2019.05.05

Introduction: Pistachio cereals are one of the most important products in the export sector. Therefore, accurate grading of pistachios is very important. By counting the number of pistachios in 100gr according to the national standard of Iran, this product is classified into three categories of large, medium and small.

Materials and methods: In this paper, the image of some pistachio cereals with different random size and shape was taken and stored in computers using the machine vision technique. Then, the image processing operations consisted of improving the pistachio images to increase the accuracy of edge detection was done. The exact calibration process was performed with a chessboard plate was conducted to extract the geometrical dimensions including the largest diameter and area. In the national standard of Iran, intact or broken pistachios are not considered to grade this product. Therefore, in this research, Fourier series method is used to extract morphological characteristics of pistachio cereals including roundness, elongation, asymmetry, triangularity and squareness using the low order descriptors. According to the results of the calibration operation, the dimensional measurement of pistachios with an average error of 0.09 mm is possible

Results & Discussion: According to the experimental results, it is possible to improve the current standard of pistachio using image processing and fourier series techniques in terms of increasing measurement speed, reducing costs, and adding the shape characteristics of pistachios to determine the amount of intact or broken pistachios.

Keywords: Pistachio, Machine vision, Fourier series, Grading.

1 and 2. Assistant Professor and Graduate Bachelor, Department of Mechanical Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran.
(* Corresponding Author: sy.m.emam@birjandut.ac.ir)